

Badania współczynników odbicia światła i luminancji zapraw cementowych i betonów

Streszczenie

Jasna barwa cementu jest właściwością pożądaną przez klientów z uwagi na możliwość lepszego połączenia zaprawy cementowej z barwnikami (kostka brukowa), uzyskanie bardziej intensywnych kolorów i/lub poszerzenie samej gamy kolorystycznej w procesie wytwórczym. Kolor produkowanych cementów portlandzkich powszechnego użytku determinowany jest przez barwę głównego składnika, tj. klinkieru portlandzkiego, który z uwagi na sposób produkcji ma zabarwienie ciemnoszare. W rezultacie do zabarwienia elementu betonowego, np. kostki brukowej, której produkcja bazuje na zwykłym cemencie, zużywa się znaczne ilości barwników. Cementy zawierające w swym składzie duże ilości zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego charakteryzują się jasną barwą. Ponadto klinkier portlandzki produkowany z niektórych złóż odznacza się jaśniejszym kolorem niż klinkier z innych. Dotychczas nie wykorzystywano tych wyjątkowych parametrów cementu. Jaśniejsza barwa zaprawy cementowej ma znaczący wpływ na estetykę wykonanych z niej prefabrykatów betonowych, tj. na barwę, jasność i nasycenie. Dużą rolę mogą odgrywać jasne cementy przy produkcji betonu architektonicznego. W Cementowni ODRA przeprowadzono prace badawcze mające na celu usystematyzowanie wiedzy na temat wpływu barwy cementu na betonowe wyroby budowlane. Dla realizacji badań opracowano i wykonano specjalne stanowisko pomiarowe. Badania wykazały zmienność parametrów jasności dla różnych gatunków cementów. Zbadano wpływ barwy cementów na współczynniki odbicia i luminancję betonów wykonanych na ich bazie. Wyznaczono pomiarami numeryczne barwy betonów w modelu przestrzeni barw RGB.

Słowa kluczowe:

beton, odbicie światła, luminancja

Abstract

The light colour of the cement is a property desired by customers. This gives the opportunity to get better colours of concrete products. The colour of produced Portland cements is determined by the colour of the main component, i.e. portland clinker. The dark-grey colour of the concrete element, e.g. paving stones, the production of which is based on ordinary cement, consumes large amounts of pigments. Cements containing large amounts of ground granulated blast furnace slag are characterized by light colour. Moreover, Portland clinker produced from some raw materials is lighter colour than others. Until now these exceptional properties of cement have not been used. Light-coloured cements can also play an important role in the production of architectural concrete. Research work was carried out to systematize knowledge about the effect of cement colour in concrete construction products. Numeric colours in RGB was measured for concrete.

Keywords:

concrete, light reflection, luminance

1. Wprowadzenie

Według Portland Cement Association „...cement portlandzki jest zwykle wytwarzany z tanich, wydobywanych surowców, które zwykle zawierają znaczne ilości chromu, manganu i żelaza. Ilości tych pierwiastków przejściowych różnią się w zależności od surowców, a ponieważ rzadko mają one znaczący wpływ na wytrzymałość, wielkość zmienności może być duża. Jednak mają one wpływ na kolor. Wszystko to oznacza, że kolor szarego cementu może i często się zmienia, zarówno od rodzaju do rodzaju, jak i od partii do partii. Szary cement może być jasny, ciemny, brązowawy, zielonkawy lub mieć inny odcień, odcień i wariacje szarości. Zarządzanie kolorem betonu wymaga dobrego zrozumienia zmiennych, które mają wpływ na ostateczny wygląd odlewu betonowego. Od wyboru cementu aż po wybór środka uszczelniającego...” <https://concretecountertopinstitute.com/free-training/natural-gray-concrete-without-gray-cement/> Jasna barwa cementu jest właściwością pożądaną przez klientów z uwagi na możliwość lepszego połączenia zaprawy cementowej z barwnikami, co umożliwi uzyskanie bardziej intensywnych kolorów i/lub poszerzenie samej gamy kolorystycznej asortymentu. Kolor produkowanych cementów portlandzkich powszechnego użytku determinowa-

ny jest przez barwę głównego składnika, tj. klinkieru portlandzkiego, który z uwagi na sposób produkcji ma zabarwienie ciemnoszare. W rezultacie do zabarwienia elementu betonowego, np. kostki brukowej, której produkcja bazuje na zwykłym cemencie, zużywa się znaczne ilości barwników. Cementy zawierające w swym składzie duże ilości zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego charakteryzują się jasną barwą. Ponadto klinkier portlandzki produkowany z niektórych złóż odznacza się jaśniejszym kolorem niż klinkier z innych. Dotychczas nie wykorzystywano tych wyjątkowych właściwości cementu, mimo iż jaśniejsza barwa zaprawy cementowej ma znaczący wpływ na estetykę wykonanych z niej prefabrykatów betonowych, tj. na barwę, jasność i nasycenie. Cementy o jasnej barwie mogą odgrywać ważną rolę także w produkcji betonu architektonicznego.

„...Wraz ze wzrostem zainteresowania betonem dekoracyjnym będzie odpowiednio wzrastać zainteresowanie kolorem betonu. Zrozumienie dostępnej technologii będzie ważnym elementem utrzymania satysfakcji klienta, ponieważ kolor staje się ważniejszym aspektem przemysłu betonowego...” <https://www.forconstructionpros.com/concrete/decorative/article/12135916/the-science-of-color-in-concrete> W Cementowni ODRA przeprowadzono prace badawcze na potrzeby projektu pod nazwą: „Opracowanie i wdrożenie w Cementowni ODRA nowatorskiej energooszczędnej technologii produkcji klinkieru dla uzyskania nowych i unikalnych parametrów cementu”, mające na celu usystematyzowanie wiedzy na temat wpływu barwy cementu na betonowe wyroby budowlane.

2. Zastosowane metody pomiarowe

- Pomiar współczynników odbicia światła zrealizowano jako pomiar bezpośredni za pomocą luksomierza. Wykonano pomiary natężenia światła padającego na próbkę laboratoryjną oraz natężenia światła odbitego. Badania były wykonane dla przedziałów stosowanych w przemyśle opisanych w normie PN-EN 12464-1: 2004 tj.: 200 lx, 500 lx, 750 lx.
- Pomiar współczynników luminancji powierzchni próbek laboratoryjnych został zrealizowany zgodnie z normą BN-87-7011-25 metodą fotograficzną. Metoda ta oparta jest na statystyce histogramu luminancji pikseli badanego obrazu próbki laboratoryjnej. Mierzono luminancję przy filtracji R (red – czerwony), G (green – zielony), B (blue – niebieski) oraz luminancję monochromatyczną. Pomiary te pozwalają porównywać kolory mierzonych próbek laboratoryjnych do wzorca bieli.

3. Stanowisko pomiarowe

Dla realizacji badań opracowano i wykonano dedykowane stanowisko pomiarowe. W pomieszczeniu bez dostępu światła dziennego zastosowano rozproszone oświetlenie o regulowa-

nym natężeniu światła. Białe ściany i sufit równomiernie odbijały światło. Próbkę pomiarową umieszczono na czarnym matowym stanowisku pomiarowym. Jako wzorzec bieli zastosowano siarczan baru (BaSO₄).

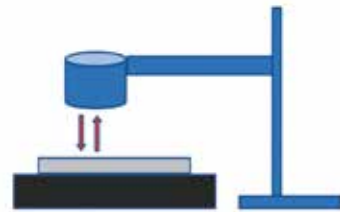
a. Wyposażenie:

- luksomierz klasy A typ: LXP – 10 A, numer głowicy BY1479, numer czytnika BM0101 producent SONEL SA
- aparat fotograficzny CANON EOS 6D z obiektywem Canon EF 50 mm f/1.4 USM
- statyw służący do mocowania luksomierza
- statyw służący do mocowania aparatu fotograficznego
- stabilne stanowisko z wyznaczonym miejscem usytuowania badanej próbki
- oświetlenie o zmiennym natężeniu.

b. Rozmieszczenie elementów pomiarowych:

- pomiar odbicia światła (rys. 1)
- pomiar luminancji oświetlonej próbki (rys. 2).

W pierwszej kolejności umieszczamy badaną próbkę w wyznaczonym miejscu na stanowisku pomiarowym, następnie ustawiamy luksomierz nad badaną próbkę w jednoznaczonym i powtarzalnym ułożeniu. Gdy wszystko jest przygotowane, można przystąpić do pomiaru przy różnych warunkach oświetleniowych. Pomiar wykonuje się dwukrotnie, obracając próbkę o 90°. Dla wykonania pomiaru luminancji dodatkowo na stanowisku pomiarowym umieszczany jest wzorzec bieli. Fotografujemy daną próbkę wraz z wzorcem bieli i zapisujemy zdjęcie w celu dalszego opracowania w programie GIMP.



Rys. 1. Luksomierz klasy A typ: LXP-10A nr. głowicy BY 1479 nr. czytnika BM0101 prod. SONEL SA. Źródło: <https://www.sonel.pl/pdf/product/luksomierz-sonel-lxp-10a/?lang=pl-pl>

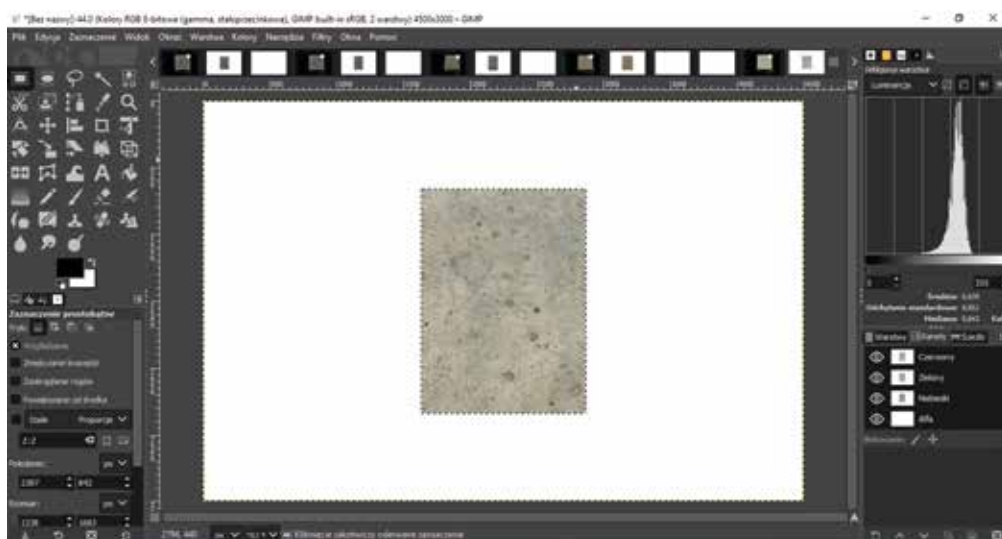


Rys. 2. Aparat Canon model EOS 6D+obiektyw Canon EF 50 mm f/1.4 USM źródło: https://www.canon.pl/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_6d/

Dokonujemy zapisu zdjęcia próbki w formacie koloru RGB stosowanego w informatyce (np. palety barw w plikach graficznych, w plikach html). Zastosowano 24-bitowy zapis kolorów (po 8 bitów na każdą z barw składowych), w którym każda z barw jest zapisana przy pomocy składowych,



Rys. 3. Ekran programu GIMP



Rys. 4. Ekran programu GIMP – opracowanie zdjęcia

Nr	Numer zdjęć	Wartości				Współczynniki f1, f2		Jasność L=100 VG
		R	G	B	Luminacja	f1=B/R	f2=B/G	
1	392	0,743	0,747	0,722	0,745	0,97	0,97	86,43
2	393	0,737	0,740	0,719	0,738	0,98	0,97	86,02
3	394	0,805	0,797	0,772	0,797	0,96	0,97	89,27
4	395	0,517	0,456	0,375	0,465	0,73	0,82	67,53
5	396	0,607	0,556	0,480	0,563	0,79	0,86	74,57
6	397	0,464	0,400	0,308	0,409	0,66	0,77	63,25
7	398	0,437	0,375	0,285	0,383	0,65	0,76	61,24
8	399	0,534	0,508	0,454	0,510	0,85	0,89	71,27
9	400	0,566	0,547	0,504	0,549	0,89	0,92	73,96
10	401	0,555	0,478	0,381	0,489	0,69	0,80	69,14

które przyjmują wartość z zakresu 0-255. W modelu RGB wartość 0 wszystkich składowych daje kolor czarny, natomiast 255 – kolor biały. Metoda wyznaczania luminancji (RGB) w sposób numeryczny wyznacza liczbowo kolor powierzchni betonu zgodny z paletą kolorów stosowanych w innych produktach (np. farby, płytki ceramiczne, powłoki). Dla przykładu: kolor próbki 22. z cementu CEM III/A 42,5 N można opisać parametrami (R=206, G=204, B=191) oraz wyliczonym numerem koloru 13 552 831.

4. Zakres badań

Pomiary współczynników odbicia światła i luminancji przeprowadzono na próbkach o różnym składzie oraz różnych źródłach światła. Wszystkie pomiary przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych.

a. pomiary próbek betonów

Do pomiaru wykorzystuje się standardowe kostki kontrolne betonu o wymiarach 15x15x15 cm poddane sezonowaniu przez 30 dni.

b. pomiary próbek cementów

Próbki otrzymuje się przez uformowanie pryzmy cementu pomiędzy dwoma ściskanymi powierzchniami szklanymi.

c. pomiary próbek zaprawy cementowej

Dla lepszej analizy produktu, jakim jest cement, prowadzono równoległe badania próbek zaprawy cementowej wykonywanych z różnych rodzajów cementu przy zachowaniu stałej proporcji kruszywa. Podlega sezonowaniu przez 30 dni.

5. Wyniki badań

a. Pomiary betonów

- Zauważalny jest wyraźny wpływ rodzaju cementu na współczynnik odbicia światła betonu. Najwyższe wyniki uzyskano dla betonów wyprodukowanych z cementu CEM III/A 42,5 N ($w_{os}=0,31$), najniższe dla CEM I 42,5 R ($w_{os}=0,21$).

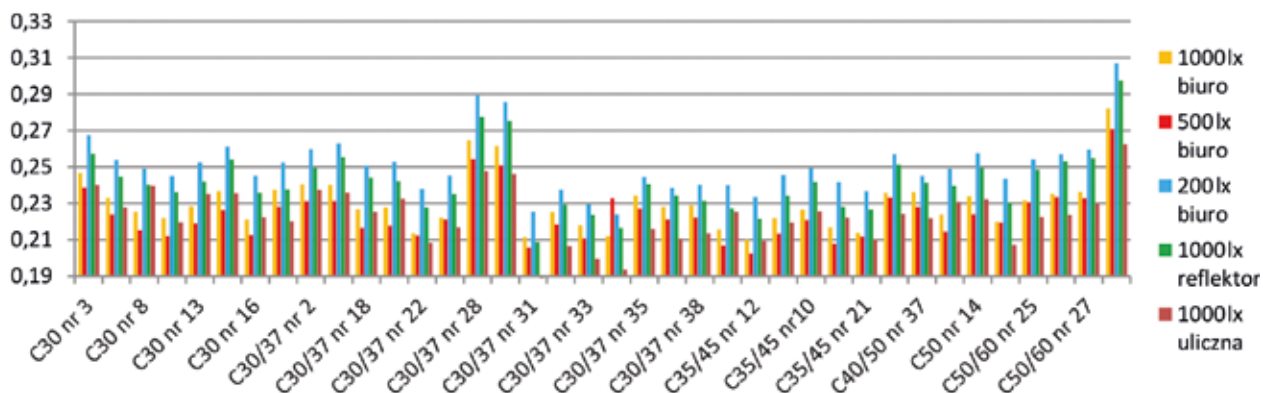
- Na współczynnik odbicia światła ma wpływ udział cementu w metrze sześciennym betonu (od 260 do 360 kg/m³). Trzy najwyższe wyniki uzyskały betony wyprodukowane z cementu CEM III/A 42,5 N.
- Wyniki pomiarów w poszczególnych poziomach natężenia oświetlenia 200 lx, 500 lx, 750 lx dla tej samej próbki wykazują małą zmienność wyników.

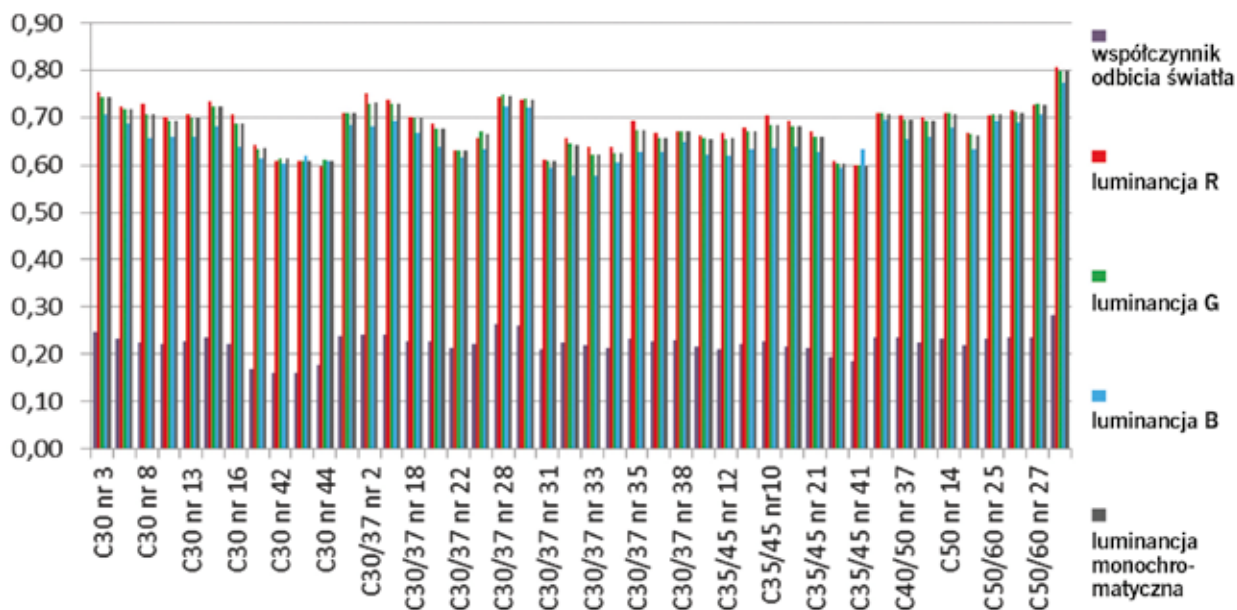
Na rys. 5. możemy zaobserwować zmienność wartości natężenia oświetlenia oraz współczynnika odbicia światła próbek betonów dla różnych poziomów natężenia oświetlenia i rodzajów lamp. Dla betonu C30 wykonanego na bazie cementu CEM III/A 42,5 N współczynnik odbicia światła przyjmuje wartości od 0,261 do 0,265, natomiast współczynnik luminancji wartości od 0,738 do 0,745, co jest dobrym wynikiem. Najciemniejszy z badanych betonów C30 z cementu CEM I 42,5 R osiąga współczynnik odbicia światła w zakresie wartości od 0,211 do 0,229 oraz współczynnik luminancji przyjmuje wartość od 0,609 do 0,697. Na rys. 6. przedstawiono porównanie pomiarów natężenia światła odbitego i pomiaru luminancji dla badanych próbek betonu. Można zaobserwować korelację wyników. Obie zastosowane metody pomiaru są miarodajne w ocenie betonu pod kątem jasności. Metoda wyznaczania luminancji w sposób numeryczny wyznacza liczbowo kolor powierzchni betonu zgodny z paletą kolorów stosowanych w innych produktach (np. farby, płytki ceramiczne, powłoki). Dla przykładu: kolor próbki 22. z cementu CEM III/A 42,5 N można opisać parametrami (R=206, G=204, B=191) oraz wyliczonym numerem koloru 13 552 831.

b. Pomiary cementów

Struktura powierzchni próbki laboratoryjnej cementu oraz jego barwa mają bezpośredni wpływ na współczynniki odbicia światła. Otrzymane wyniki wartości współczynników odbicia światła dla różnych rodzajów cementu przedstawiono na rys.7. Zaprezentowane uśrednione

Rys. 5. Przebieg funkcji natężenia oświetlenia/współczynnika odbicia światła próbek betonów dla różnych poziomów natężenia oświetlenia i rodzajów lamp





Rys. 6. Współczynnik odbicia światła i współczynnik luminancji tych samych próbek betonów

wyniki pomiarów pokazują, że wartość współczynnika odbicia światła zmienia się do 50% w zależności od rodzaju cementu. Najniższą wartość współczynnika odbicia światła 0,228 uzyskano dla cementu CEM II/B-M(V-LLO 32,5 R, a najwyższą 0,319 dla cementu CEM III / A 42,5 N.

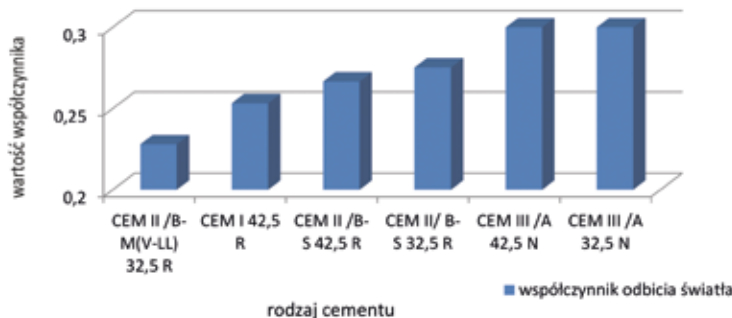
c. Pomiary zapraw cementowych

Płytkę pomiarową wytwarzana jest z zaprawy o konsystencji plastycznej, zawierającej jedną część masy cementu (450 g), trzy części masy piasku normowego (1250 g +/- 5 g) i pół części masy wody (225 ml). Zaprawę miesza się mechanicznie i zagęszcza w formie za pomocą wstrząsarki. Płytkę przechowuje się w formach przez 24h w wilgotnym otoczeniu (szafie klimatycznej). Pomiar wykonuje się po 28 dniach.

Na rysunku 8 przedstawiono uśrednione wyniki badań współczynników odbicia światła próbek zapraw cementowych po 28 dniach hydratacji. Dla próbek zapraw cementowych nastąpiło zmniejszenie wartości współczynnika odbicia światła w stosunku do wartości uzyskiwanych przy badaniu próbek cementów, z których powstały. Wpływ na obniżenie współczynnika odbicia światła miał ciemny kolor zastosowanego piasku normalywnego.

5. Wnioski

Badania wykazały zmienność parametrów jasności dla różnych klas betonu i rodzaju cementu. Dla betonu C30 wykonanego na bazie cementu CEM III/A 42,5 N współczynnik odbicia światła przyjmuje wartości od 0,261 do 0,265, natomiast współczynnik luminancji wartości od 0,738 do 0,745, co jest dobrym wynikiem. Najciemniejszy z badanych betonów C30 z cementu CEM I 42,5 R osiąga współczynnik odbicia światła w zakresie wartości od 0,211 do 0,229 oraz współczynnik luminancji przyjmuje wartość od 0,609 do 0,697. Dla cementów najwyższe wartości współczynni-



Rys. 7. Przebieg funkcji współczynnika odbicia światła próbek cementu od zmian rodzaju cementu



Rys. 8. Przykładowy przebieg funkcji współczynnika odbicia światła próbek zapraw cementowych dla różnych rodzajów cementu

ków otrzymano dla CEM III/A 42,5 N, które wyniosły 0,30 – 0,34 oraz 0,75 – 0,80 odpowiednio dla współczynnika odbicia światła oraz współczynnika luminancji. Najciemniejszy z badanych cementów CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R osiąga współczynnik odbicia światła w zakresie wartości od 0,196 do 0,253 oraz współczynnik luminancji przyjmuje wartość od 0,533 do 0,638.

Badania usystematyzowały wiedzę o wpływie produkowanych w Cementowni ODRA rodzajów cementu na barwę uzyskiwanego betonu.

**dr inż. Marek Kacperak
Cementownia ODRA SA**



Projekt POIR.01.01.01-00-1151/17 realizowany w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój na lata 2014-2020. Projekt pod nazwą: „Opracowanie i wdrożenie w Cementowni Odra nowatorskiej energooszczędnej technologii produkcji klinkieru dla uzyskania nowych i unikalnych parametrów cementu”